

# 実施設におけるコンクリ - ト躯体および内装材から発生する 有害性物質と除去方法に関する研究

三浦 勇雄\*1  
永橋 進\*1

## 概 要

新設の美術館・博物館あるいは公文書館などにおける特有の問題としてコンクリ - ト躯体や内装材から発生する水分・アルカリ物質および酸性物質などが絵画や美術工芸品、公文書の紙や朱肉などの変質・劣化を起こすために問題となっている。特に、アルカリ物質の主要な発生源の一つとして大容量を占めるコンクリ - ト躯体が考えられる。

このため美術館などでは、建物の竣工後、約1年間「コンクリ - トの枯らし期間」を置き、機械的な換気・除湿を行ったり、空調機アルカリ除去フィルタ - による有害性物質の除去後、文化財などを展示・収納を行っている。したがって、コンクリ - ト躯体や内装材などからの有害性物質の発生の抑制ならびに除去技術の確立が急務とされている。そこで著者らは、コンクリ - ト躯体から発生する有害性物質を短期間に多量に除去する方法を考案した。

本稿は、実施設におけるアルカリ対策として実施した散水と換気・除湿処理によるアルカリ物質の早期放散と除去方法の有効性が確認されたので報告する。さらに、コンクリ - ト躯体の含水率の経時変化ならびにコンクリ - ト躯体とアルカリ放出量との相関性および内装材から発生する酸性物質の経時変化について検討するとともに、空調機アルカリ・酸性除去フィルタ - による室内環境空気質の改善効果について示した。

## STUDY ON METHOD TO REMOVE AND HARMFUL MATERIALS RISE IN INTERIOR FINISHING AND CONCRETE AT PRACTIC ESTABLISHMENT

Isao MIURA\*1  
Susumu NAGAHASHI\*1

A newly-established art museum and official document museum are controversy about deterioration of pain-ting and artistic handcrafts. moreover, paper and vermilion inkpads. The deterioration is caused by harmful materials(water and alkali materials rise in concrete, acid materials rise in interior finishing ) rise in interiorfinishing and concrete. Specially, It is think that one of main origin for alkali materials is concrete with high volume. As for art museum hold season period of time with concrete for one year after completion and driving ventilation with drying mechanically. moreover as for cultural assets was displayed and safekeeping, after removed harmful materials by using of alkali removing filter set up with air conditioner. Therefore, it is urgently needed to start the control of harmful materials and establishment of removing technical art. Writers design on method to remove in such a short time and abundance harmful materials rise in concrete and interior finishing.

This report describes effective method for alkali countermeasure which is wet and ventilation drying cycle. moreover, examined passage time of concrete water content and relationship between concrete water content and ammonia density in the room ,and passage time of acid materials rise in interior finishing,and showed improvement effect of air-quality in the room by using of acid removing filter set up with air conditioner.

---

\*1 本社建築工事技術部

\*1 Architectural Engineering Dept

# 実施設におけるコンクリート躯体および内装材から発生する有害性物質と除去方法に関する研究

三浦 勇雄\*1  
永橋 進\*1

## 1. はじめに

新設の美術館・博物館あるいは公文書館などにおける特有の問題としてコンクリート躯体や内装材から発生する水分・アルカリ物質および酸性物質などが絵画や美術工芸品、さらに公文書の紙や朱肉などの変質・劣化を起こすために問題となっている。特に、アルカリ物質の主要な発生源の一つとして大容量を占めるコンクリート躯体が考えられる。

このため美術館などでは、建物の竣工後、約1年の間「コンクリートのかび期間」を置き、機械的な換気・除湿を行ったり、空調用フィルタ-に有害性物質の吸着機能をもたせ、室内に拡散した有害性物質を除去し、室内環境を清浄化してから文化財などの展示や収納を行っている。したがって、コンクリート躯体や内装材などからの有害性物質の発生の抑制ならびに除去技術の確立が急務とされている。

そこで著者らは、コンクリート躯体面を散水して水で濡らした後、乾燥させる湿潤と乾燥処理を1サイクルとして、このサイクルを所定期間にわたって繰り返し、その後、換気・除湿運転を所定期間行うことにより、コンクリート躯体内のアルカリ物質を短期間に多量に除去する方法を考案した。

本稿は、現場施工したコンクリート躯体から発生するアルカリ物質の挙動特性ならびにコンクリート躯体の含水率と放出アルカリ量の相関性について検討した。

また、アルカリ除去対策として実施した湿潤と換気・除湿処理によるアルカリ物質の早期放散および除去方法について実験的に検討し、コンクリート躯体から発生するアルカリ物質の除去方法としての有効性について検討を行った。

さらに内装材から発生する酸性物質の挙動特性と酸除去フィルタ-による酸性物質の除去方法について検討したので報告する。

## 2. コンクリートから発生するアルカリ物質と除去方法の既往の研究と本研究の位置付け

新築建物のコンクリート躯体から発生するアルカリ物質について、登石などは、セメントに含有されるCaOのCaイオンからなる極微粒子だとしており<sup>1)</sup>、黒坂などは、骨材に含まれる不純物の含窒素物から発生するアンモニアだとしている<sup>2)</sup>。

また、コンクリート打設時の水分の処理が重要と考えられるが、アルカリ物質の定性・定量の研究<sup>3)4)5)6)</sup>は多いが、建築現場における構造体コンクリートの含水状態・水分挙動と放出アンモニア量との関連性についてはほとんど把握されていない。

一方、アルカリ物質の除去方法としては、空調清浄装置に酸・塩基除去フィルタ-を設置する方法、コンクリート面にアンモニア吸着シートを張り付けてアンモニアを除去する方法およびセラミックス粉末混入木繊維セメント板を永久型枠として使用する方法や透水型枠を使用してアンモニアを除去する方法などがあるが、除去効果の持続性や信頼性に欠けるものもある。

以上から、文化財施設などにおけるアルカリ汚染対策が、ますます重要視される状況において、アルカリ物質や酸性物質を早期に除去できる新たな方法を究明する必要性が高いといえる。

## 3. 実施設における実験概要

### 3.1 対象建物

実験は、美術館と公文書館の2つの建物で行った。美術館の構造・規模は、鉄筋コンクリート造、地上2階、敷地面積は、1,070.56㎡(3,323.84坪)、建築面積は、620.66㎡(187.75坪)の建物である。

公文書館の構造・規模は、鉄筋コンクリート造、地上3階、敷地面積は25,000.00㎡(7,575坪)、建築面積は4,722㎡(1,430坪)の建物である。

### 3.2 美術館

当美術館は、所定期間の散水と換気・除湿処理および空調機アルカリ除去フィルタ-などのアルカリ汚染対策を施した建物である。

\*1 本社建築工事技術部

ここでは、経時変化に伴うコンクリート躯体の含水率と室内のアルカリ物質の挙動を計測評価し、美術品（国宝等）に対する室内環境の適切な安定化を図るとともにコンクリート躯体の含水率と放出アルカリ度の相関について検討した。

(1) アルカリ汚染対策

コンクリートを打込み、型枠解体後、散水を14日間、その後換気・除湿運転を3ヶ月間行った。その後、アルカリ除去フィルタ - が設置されている空調機により約1.5年間空調運転を継続した。換気は、換気扇「VD-20Z4」型（換気能力Q = 270 m<sup>3</sup>/H）を一台吊り下げた。除湿は、除湿乾燥機「RFB-400」型（除湿能力q a = 0.9 l/H）を2台使用して換気・除湿運転を並行した。

(2) 計測対象

計測対象室は、アルカリ対策をした収蔵庫、展示室およびアルカリ対策をしない通常の状態の事務所、ダクトスペース（DS室）の計4室とした。

計測対象となった室の概要を表-1に示す。

(3) 計測部位と計測箇所

コンクリート躯体内部の温・湿度の計測部位は、各室の床、壁、屋根（天井）とした。計測位置は、コンクリート表面から20mm、90mmの2箇所である。

室内環境空気質の計測箇所は、図-1に計測部位と合わせて示す。

(4) 計測・評価項目

計測・評価項目は、コンクリート躯体の内部湿度（%RH）、コンクリート躯体の内部温度（℃）、室内環境の空気汚染度（偏苛性度、偏酸性度）、室内環境の温度（℃）、室内環境の湿度（%RH）の5項目とした。また、一部の室内においては、空気汚染度をイオンクロマト分析により評価した。

(5) 計測方法

コンクリート躯体内部の含水率は、現場打ちコンクリートと同質の模擬試験体を用いてコンクリート内部湿度と含水率との校正曲線を求めておき、測定した内部湿度から含水率を換算した。

a) コンクリート躯体内部の温・湿度

コンクリートの調合は、水セメント比52%、単位水量173Kg/m<sup>3</sup>、砂840Kg/m<sup>3</sup>、砂利1,005Kg/m<sup>3</sup>、高性能減水剤366Kg/m<sup>3</sup>である。

コンクリート躯体内部の温・湿度の計測は、図-2に示すように電動ドリル（φ12mm）を用いてコンクリート躯体表面から20mm、90mmまで削孔し、図-3に示すような温・湿度センサ - （高分子感湿素子）を挿入後、削孔部に液状シリコンを流し込み、外部から遮断する。

温・湿度の測定は、H社製CARD HI TESSTER 3240を用いて行った。

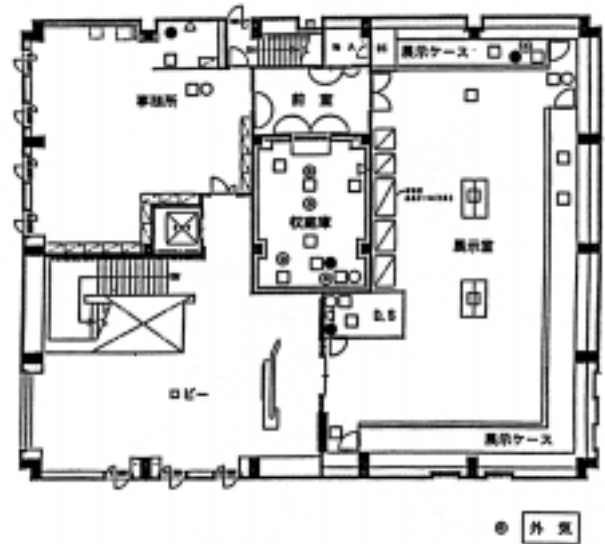
b) 室内環境の空気汚染度

室内環境の空気汚染度の測定は、保存環境の簡易法として従来から使用されている変色試験紙法と一部の室内において、物質の定性・定量のためのイオンクロマトグラフィの分析を行った。

変色試験紙法は、空気質のアルカリイオンおよび酸性

表-1 計測対象室の概要

| 対象室 | 床面積 m <sup>2</sup> | 仕上材・壁     | 仕上材床     | 仕上材・天井    |
|-----|--------------------|-----------|----------|-----------|
| 収蔵庫 | 38.6               | 木質調湿パネル   | ブナフローリング | 木質調湿パネル   |
| 展示室 | 233.1              | 石膏+ガラスクロス | ビニル床シート  | 石膏+ガラスクロス |
| 事務所 | 90.1               | 石膏+ガラスクロス | タイルカーペット | 石膏+岩綿板    |
| DS室 | 5.1                | 無         | 無        | ガラスウール    |



計測点数：水分計測（●：床、△：壁、○：屋根）計11点（温・湿度センサー11×2=22個）  
 空気清浄度（□印）計20点（環境モニター20枚）  
 ガス分析（◎印）計5点（ガスサンプリング法）

図-1 計測部位と計測箇所

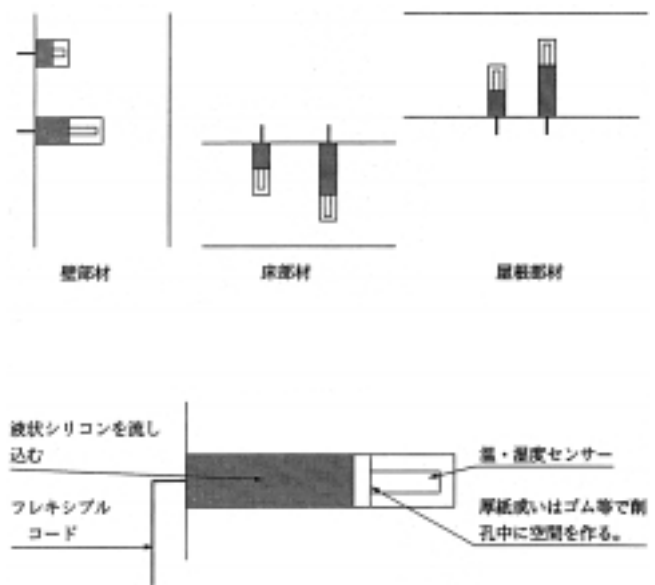


図-2 温湿度センサ - の設置方法

イオンの存在性を5段階で判定し、簡易的かつ総合的に空気環境を評価するのに適した方法である。

判定方法は、床から高さ1mの位置にセットし、一昼夜放置した後の試験紙の色を比色表を用いて判定する。比色表は、1が酸性、2が中性(清浄環境)、3~5がアルカリ性空気環境を示している。

イオンクロマトグラフィ法は、現場でガスサンプリングをした後、化学分析室に持ち帰りイオンクロマトグラフィで分析をする方法である。操作方法は、図-4に示すようなインピンジャ-(ガス吸収瓶)に超純水40ml(1瓶)を入れ、空気を吸引ポンプで流速2l/minで吸引して、2時間行い、対象空気を補集・濃縮させる。補集・濃縮された補集液の分析条件を表-2に示す。

c) 室内環境の温・湿度

室内環境の温・湿度測定は、S社製デジタル温・湿度計を使用して測定した。

(6) 計測結果および考察

a) コンクリート躯体の含水率の推移

コンクリートを打設し、型枠解体後、コンクリート躯体の内部温・湿度を測定した。得られた結果を湿度と含水率の校正曲線から間接的に含水率を求めた。

なお、収蔵庫および展示室は、型枠解体後90日以降から空調運転(空調機にアルカリ・酸除去フィルタ-を設置)を継続している。仕上げ工事は、型枠解体後1ヶ月から開始し、3ヶ月の期間で行っている。

収蔵庫のコンクリート躯体の含水率は、図-5に示すように経過日数に伴い減少し、型枠解体後から約1.5年以降(竣工後約1年)からはほぼ一定状態になっている。

また、型枠解体後から約2年経過後の各部材の表層部分(表面から深さ20mm)では、床、壁部材で7%程度、天井部材で6%程度となっている。

また、各部材の中心部分(表面から深さ90mm)の含水率は、図-6に示すように表層部分に比べて多少大きく各部材ともに7%であった。

一方、展示室のコンクリート躯体の含水率は、上記の収蔵庫と同様な傾向を示し、型枠解体後から約2年経過後で各部材ともに6%程度となっている。

また、各部材の中心部分の含水率は、7%程度となっている。

事務所は、型枠解体後、約100日間、気中養生を行い、それ以後(竣工後)通常のアクリット運転を継続した。

仕上げ工事は、型枠解体後1ヶ月から開始し、3ヶ月の期間で行っている。

事務所のコンクリート躯体の含水率は、図-7、8に各々示すように床および天井部材の表層部分で6~7%程度、壁部材では8%程度に床および天井部材の表層部分で6~7%程度、壁部材では8%程度と他の部材と比べて大きい。

一方、中心部分の含水率は、床および天井部材で7~8%程度、壁部材では8%程度と他の部材と比べて大きい。

D S室のコンクリート躯体の含水率は、各部材の表層

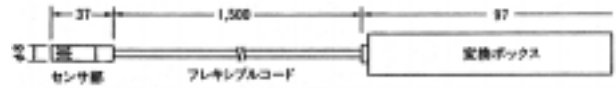


図-3 温・湿度センサ - の形状寸法

表-2 イオンクロマトグラフィの分析条件

| 装置    | IC500(横河計測システム製) |                           |          |
|-------|------------------|---------------------------|----------|
| 温度    | 45               | 流量                        | 2 ml/min |
| 検出器   | 導電率検出器           | サンプル注入量                   | 1 ml     |
| 分離カラム | 1価・2価陽イオン        | SCX 1                     |          |
|       | 陰イオン             | SAX 1                     |          |
| 溶離液   | 1価陽イオン           | 5 mM硝酸                    |          |
|       | 2価陽イオン           | 2 mMエチレンジアミン/4 mM酒石酸      |          |
|       | 陰イオン             | 4 mM炭酸ナトリウム/4 mM炭酸水素ナトリウム |          |
| 測定物質  | 1価陽イオン           | アンモニア、                    |          |
|       | 2価陽イオン           | カルシウム、マグネシウム              |          |
|       | 陰イオン             | 塩素、亜硝酸、硫酸                 |          |

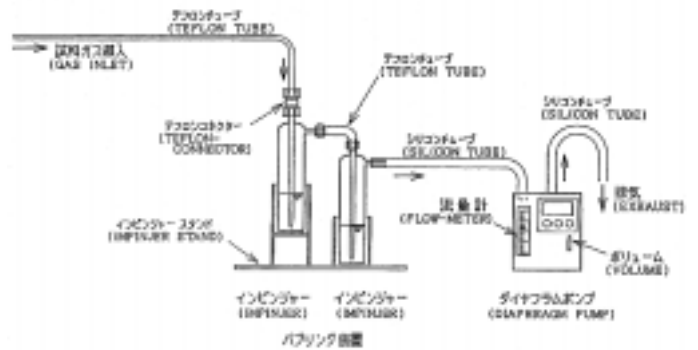


図-4 ガスサンプリング装置概略図

部分および中心部分ともに上記の事務所とほぼ同様な傾向を示した。

b) 室内環境の空気汚染性

収蔵庫の室内環境の空気質は、図-9に示すように空調運転(アルカリ・酸除去フィルタ-設置)時から約1ヶ月経過後に目標評価値(変色試験紙比色表2.0の中性領域・清浄な空気環境)を満足しているが、それ以後、弱酸性領域の空気環境になっている。

これは、収蔵庫の米杉(スプルース)等から放出される酸性物質あるいは空調機に設置してあるアルカリ・酸除去フィルタ-の機能低下などが考えられた。

そこで、フィルタ-の性能を調査したが特に問題は認められなかった。

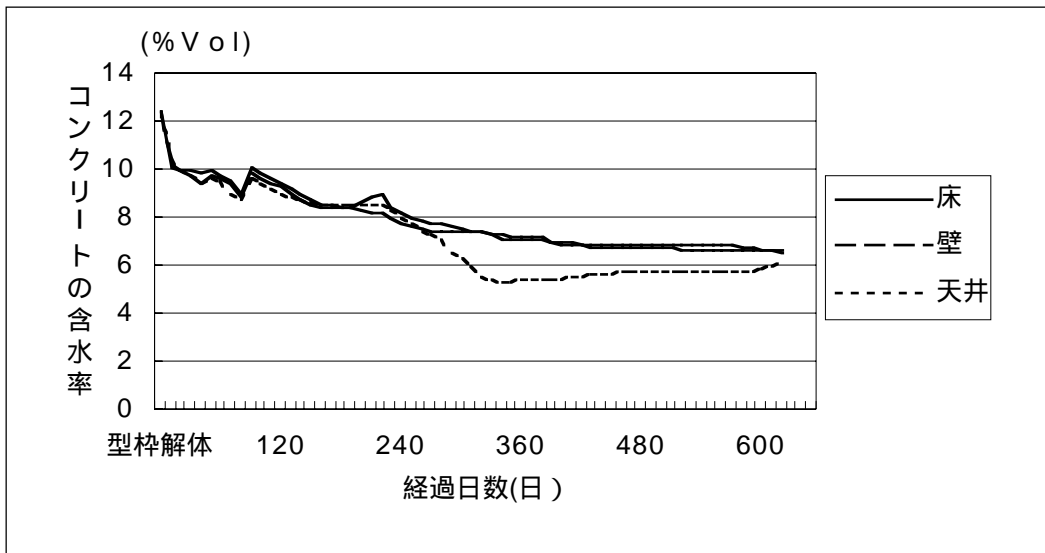


図 - 5 収蔵庫におけるコンクリート 躯体の含水率の経時変化 (表面から深さ 20 mm)

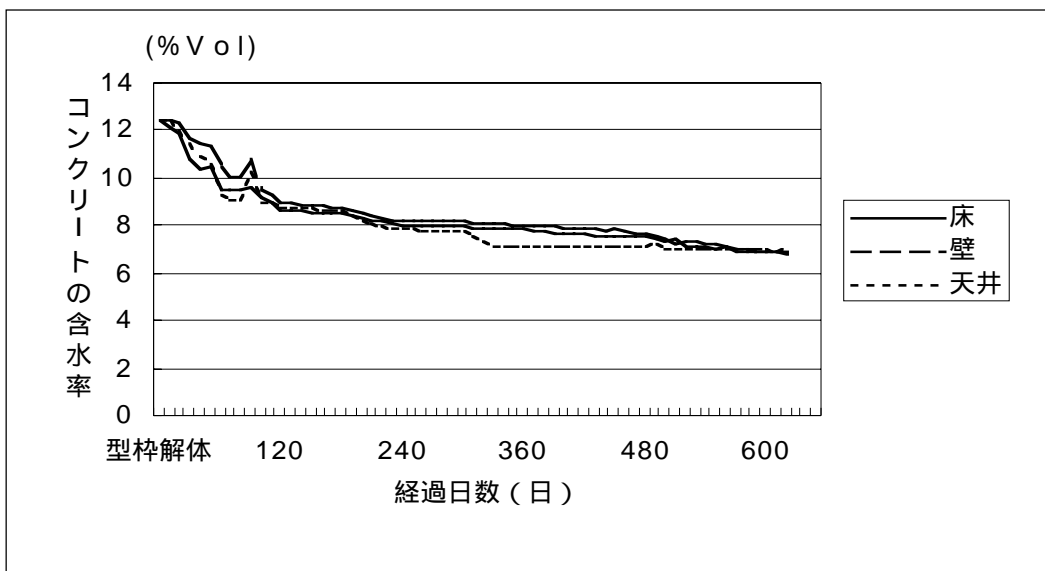


図 - 6 収蔵庫におけるコンクリート 躯体の含水率の経時変化 (表面から深さ 90 mm)

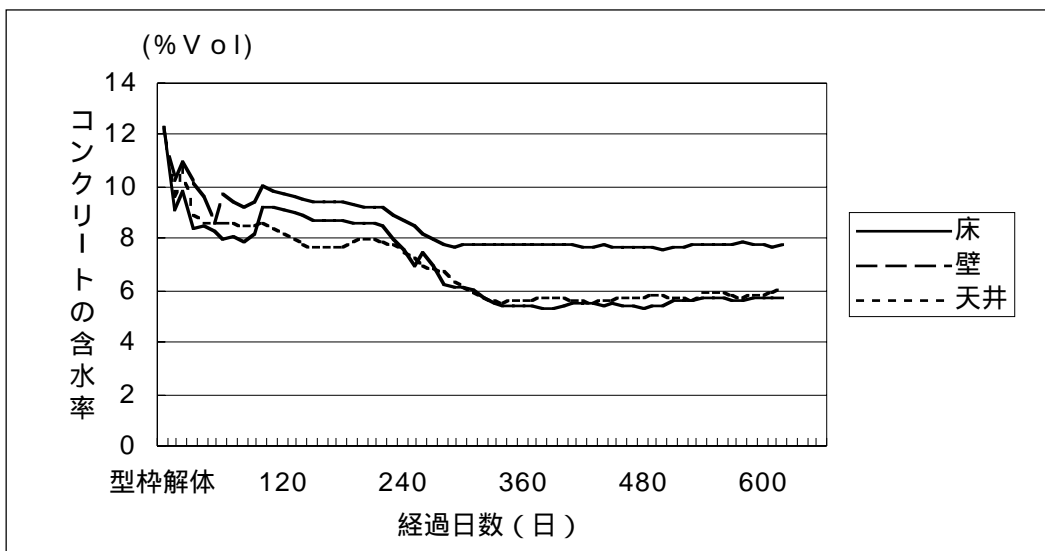


図 - 7 事務所におけるコンクリート 躯体の含水率の経時変化 (表面から深さ 20 mm)

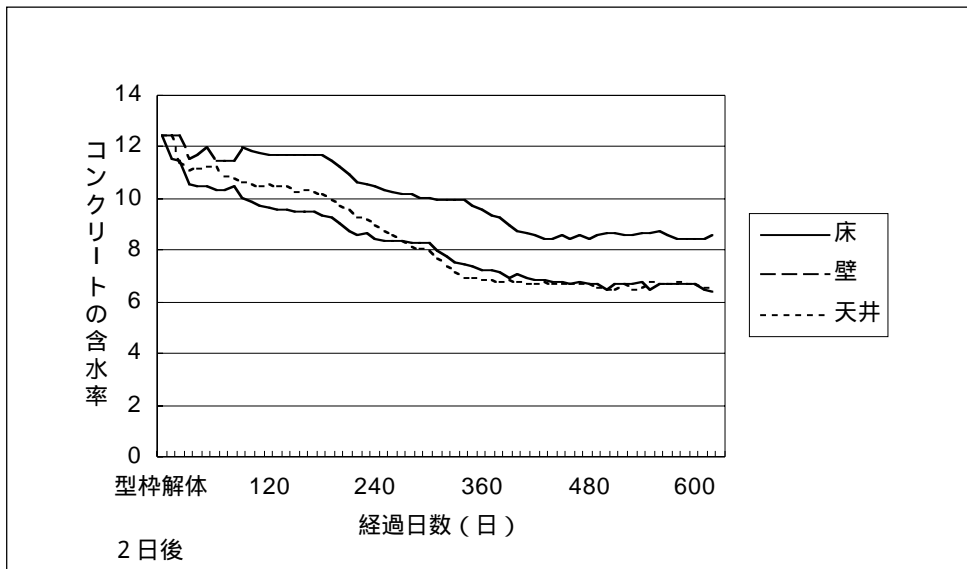


図 - 8 事務所におけるコンクリート 躯体の含水率の経時変化 (90 mm)

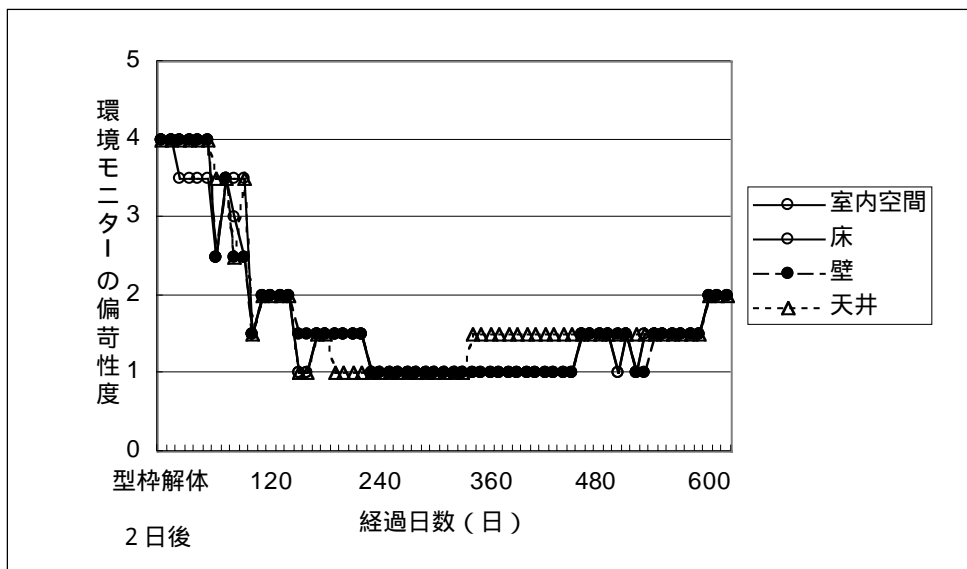


図 - 9 収蔵庫における室内空気環境の偏苛性度および偏酸性度

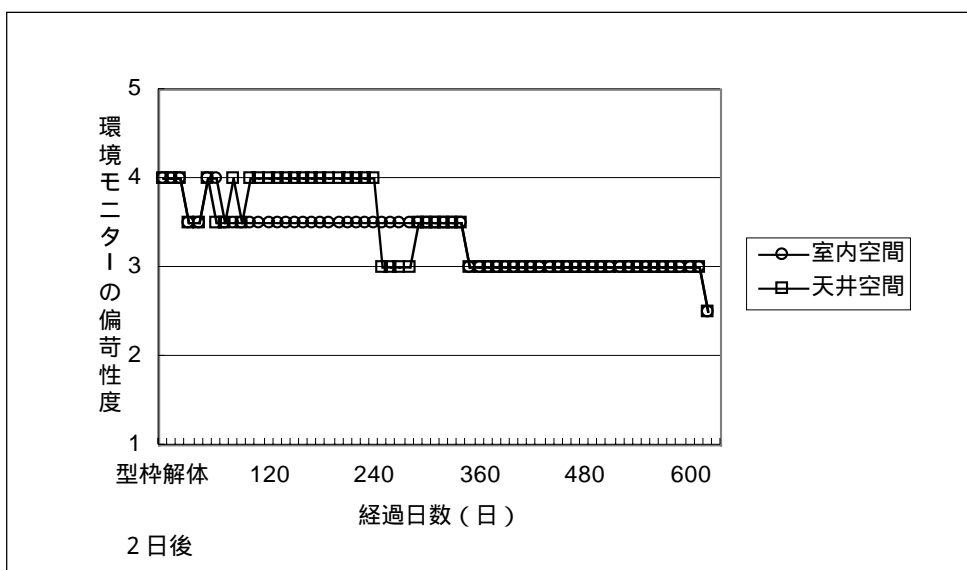


図 - 10 事務所における室内空気環境の偏苛性度および偏酸性度

さらに、原因究明と対策を講じるために室内空気質と収蔵棚の引出しの中の空気質をイオンクロマトグラフィを用いてガス分析を行った。その分析結果を図 - 11 に示す。

酸性イオン (Cl<sup>-</sup>、NO<sup>3-</sup>、SO<sup>4-</sup>) およびアルカリ性イオン (NH<sub>3</sub>) は、各イオン成分共に、一般外気などに比べてその濃度は低く、美術館の空気質としては適切な状態を示している。そのため、各イオンが今回の空気質を酸性にしている要因ではないことが判明した。

有機酸 (ギ酸: HCOOH、酢酸: CH<sub>3</sub>COOH) は、イオンクロマトグラフィからは同定することができず、その存在が非常に低濃度であることがわかった。一方、有機物 (ホルムアルデヒド: HCHO) は、3月7日の測定時で 361 μg/m<sup>3</sup> を計測し、空気質を酸性にしている原因であることが判明した。

ホルムアルデヒドを発生している物質を調査した結果、収納棚の合板であることがわかり、早急に同合板を撤去しノンホルマリン合板に取り替えた。(平成8年5月1日) その結果、5月30日、8月21日の2度の測定において、ホルムアルデヒド濃度は、10 μg/m<sup>3</sup> 以下の低濃度となり収蔵庫の空気質も中性領域になり、且つ安定していることがわかる。

展示質および展示ケース内の空気環境は、空調運転 (空調機にアルカリ・酸除去フィルタ - 設置) 時から2~3月後に目標の評価値 (変色試験紙・2の中性領域) を満足し、以後、清浄な室内空気環境を保持した。

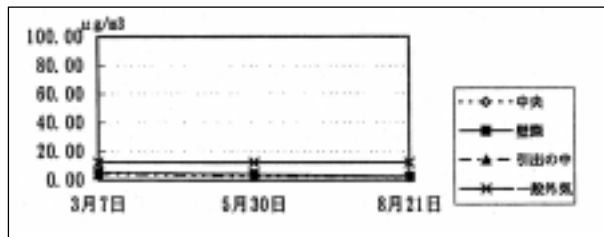
事務所内の空気環境は、図 - 10 に示すように竣工後約1.5年間アルカリ性領域の状態を示している。また、DS室内の空気環境も事務所とほぼ同様であった。

イオンクロマトグラフィ法のインピンジャ (ガス吸収瓶) の超純粋補集液のpH分析結果を表 - 3 に示す。

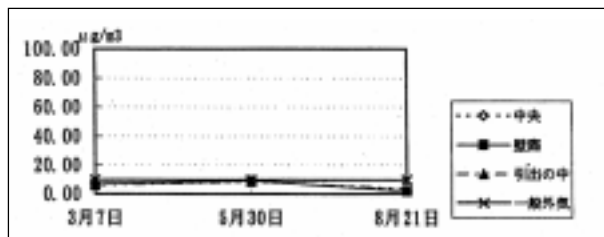
収蔵庫内および収納棚の引出しの中からガスサンプリングした超純粋補集液のpH値は、4.4~6.6の酸性を示したが、ノンホルマリン合板に取り替えて約1ヶ月後で5.2、約4ヶ月では6.2~6.5と中性領域へ近ずき、イオンクロマトグラフィ法の分析結果と対応している。

表 - 3 補集液のpH値

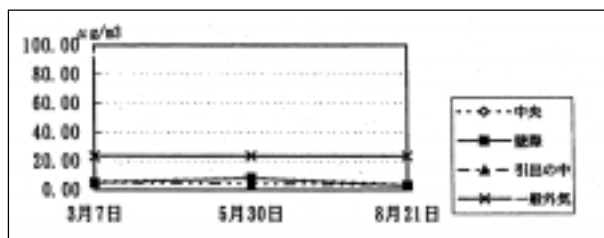
|      | 3月7日 |     | 5月30日 |     | 8月21日 |     |
|------|------|-----|-------|-----|-------|-----|
|      | 1筒目  | 2筒目 | 1筒目   | 2筒目 | 1筒目   | 2筒目 |
| 中央   | 6.5  | 6.6 |       |     | 6.5   | 6.5 |
| 壁    | 6.4  | 6.7 | 6.5   | 6.5 | 6.5   | 6.5 |
| 引出の中 | 4.4  | 6.6 | 5.2   | 5.2 | 6.2   | 6.5 |
| 使用水  | 6.8  |     | 6.7   |     | 6.7   |     |



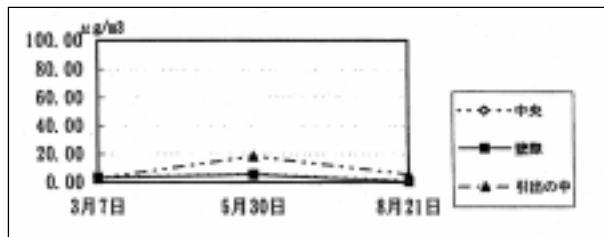
Cl - ガス分析



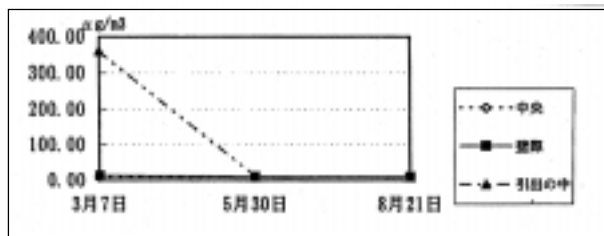
NO<sub>4</sub> - ガス分析



SO<sub>4</sub> - ガス分析



NH<sub>4</sub> - ガス分析



HCHO ガス分析

図 - 11 収蔵庫の建材等から発生する有害性物質のガス分析結果 (イオンクロマトグラフィ法)

c) コンクリート躯体の含水率と放出アルカリ度

乾燥過程におけるコンクリート躯体の含水率と放出アルカリ度との関係は、図 - 1 2、1 3 に各々示すように表面から深さ20mm、90mmともにコンクリート躯体の含水率が低下するにしたがって放出アルカリ度が減少する傾向を示し、両者の間には相関性が得られており、次式のような関係になる。

コンクリート表面から深さ20mmの含水率と放出アルカリ度との関係は、

$$Y = 0.18 X + 1.88$$

コンクリート表面から深さ90mmの含水率と放出アルカリ度との関係は、

$$Y = 0.17 X + 1.83$$

ただし、

X : コンクリート躯体の含水率 (%Vol)  
 Y : 変色試験紙による室内空気環境の偏苛性度(アルカリ度)

以上より、コンクリート躯体の含水率が4 %Vol程度になれば、室内の空気汚染性(放出アルカリ度)は、清浄な空気環境(中性)になることが分かる。

したがって、コンクリート躯体の含水状況を予測評価することによって、室使用時における室内側への放湿を抑えることができれば、美術館などにおけるアルカリ物質抑制に有用と考えられる。

(7) まとめ

本実験の計測・評価結果より概略次のようにまとめられる。

- a) コンクリート躯体の乾燥程度(含水率)は、各室ともに、表層部分が速く、部位別にみると床 > 天井(屋根) > 壁の順である。
- b) コンクリート躯体の水分・アルカリ物質の放出量は、型枠解体後、特に大きく徐々に小さくなる。
- c) コンクリート躯体の含水率と放出アルカリ度との関係は、高い相関性が認められた。

コンクリート躯体の含水率が4 %Vol程度になれば、室内の空気汚染性(放出アルカリ度)は、清浄な空気環境(中性)になる。

d) コンクリート躯体の含水率を評価することにより、コンクリートからの放出アルカリ度を予測することができる。

e) 収蔵庫にある収蔵棚の引出し内から高濃度のホルムアルデヒドが検出されたため、ノンホルムアルデヒド合板に交換した。その後、空調運転(空調機にアルカリ・酸性除去フィルタ - 設置)することにより、長期的に清浄な室内空気環境を保持した。

f) 室内環境の空気汚染性は、空調運転(空調機にアルカリ・酸性除去フィルタ - 設置)を3ヶ月以上実施することにより、清浄な室内空気環境に改善される。

g) 収蔵庫の室内環境は、清浄な室内空気環境を保持し、長期的に安定化している。

h) 展示室および展示ケース内は、清浄な室内空気環境

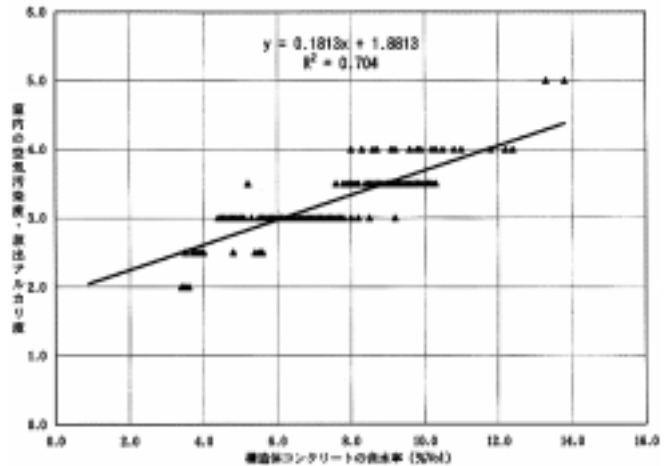


図 - 1 2 コンクリート躯体の含水率と放出アルカリ度 (表面から深さ20mm)

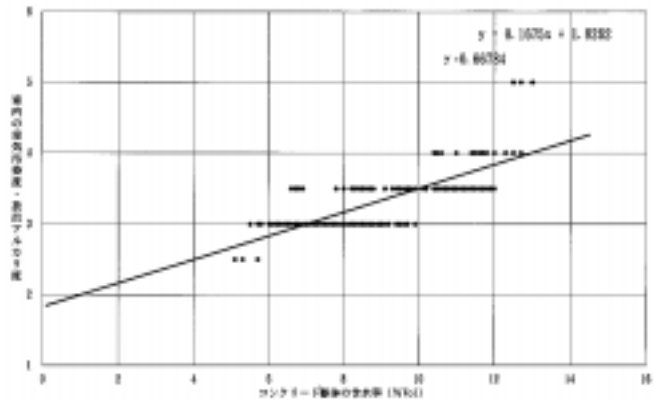


図 - 1 3 コンクリート躯体の含水率と放出アルカリ度 (表面から深さ90mm)

を保持し、長期的に安定化している。

i) アルカリ対策を行っていない事務所およびダクトスペースの室内環境は、竣工後約1.5年経過した時点でも弱アルカリ性領域を示すが、竣工後約2年経過時では清浄な室内空気環境になる。



### 3.3 公文書館

当公文書館は、前記と同様に所定期間の散水と換気・除湿処理および空調機アルカリ・酸性除去フィルタ - などのアルカリ汚染対策を施した建物である。

ここでは、アルカリ汚染対策の有効性と経時変化の伴うコンクリート躯体の含水率および室内空気質のアルカリ・酸性物質の挙動を計測評価し、公文書に対する室内空気環境の適切な安定化を図るとともにコンクリート躯体の含水率と定量分析したアンモニア放出量との相関性について検討した。

#### (1)アルカリ汚染対策

アルカリ汚染対策は、コンクリートを打込み、型枠解体後、コンクリート躯体の表面を散水により水で濡らした後、乾燥させる湿潤と乾燥処理を1サイクルとし、このサイクルを所定期間繰り返す。その後、換気・除湿運転を所定期間行うことによりコンクリート躯体中のアルカリ成分（アンモニア、カルシウム、アミン類等）を短期間に多量に除去する方法である。

散水による湿潤養生は、写真 - 1 に示すように型枠解体2日後、壁、柱、天井面に対して1日当たり3回「朝、昼、夕方」の頻度で14日間行った。なお、床には、散水後の水を溜めて深さ2 cm程度に水を張った。

換気・除湿処理は、散水養生と自然乾燥処理を14日間実施した後、写真 - 2 に示すような防爆型送風機（換気能力 $Q =$  ）を1台と除湿乾燥機（除湿能力 $q_a =$  ）を2台を並行して3ヶ月間、換気運転を行った。

#### (2) 計測対象

計測対象室は、アルカリ対策をした貴重書庫と一般書庫、アルカリ対策をしない展示室と一般書庫の4室とした。計測対象とした4室の概要を表 - 4 に示す。

#### (3)計測部位と計測箇所

コンクリート躯体内部の温・湿度の計測部位は、貴重書庫と展示室の壁、床とした。計測位置は、壁では床から高さ180 cm、360 cm、床では、壁から距離180 cmとし、コンクリート表面から深さ35 mm、90 mmの2箇所である。

室内環境空気質の計測箇所は、図 - 14 に示すようにガス分析法は各室の中央部で1箇所、変色試験紙法では各室の壁から距離2 m・床から高さ1 mの場所で3箇所とした。

#### (4)計測・評価項目

計測・評価項目は、コンクリート躯体の内部温度（ ） コンクリート躯体の内部湿度（%RH） 室内環境空気質のガス分析（アンモニア濃度等） 室内環境の空気汚染度（偏奇性度、偏酸性度） 室内の温度（ ） 室内の湿度（%RH）の6項目とした。

#### (5)計測方法

コンクリート躯体内部の含水率は、現場打ちコンクリートと同質の模擬試験体を用いてコンクリート内部湿度と含水率との校正曲線を求めておき、測定したコンクリート躯体内部の湿度から間接的に含水率を換算して求めた。



写真 - 1 散水状況

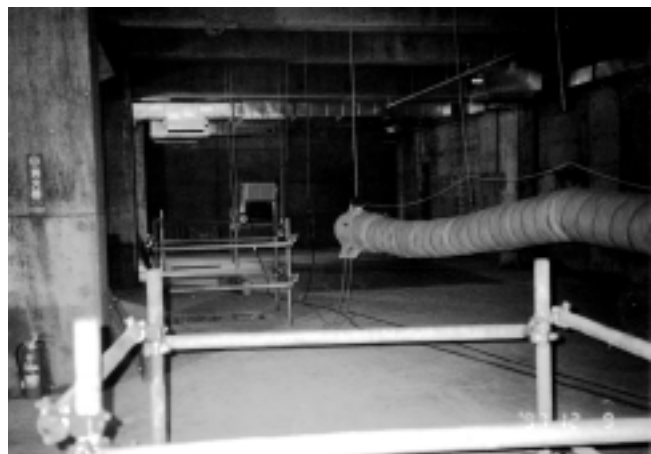


写真 - 2 換気・除湿運転

表 - 4 計測対象室の概要

| 対象室    | 床面積 $m^2$ | 仕上材・壁                | 仕上材・床                | 仕上材・天井               |
|--------|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 貴重書庫   | 207.3     | 木質調湿 $\backslash$ 補  | ブナフロ・リング             | 木質調湿 $\backslash$ 補  |
| 展示室    | 51.8      | 塗装下地クロス              | カーベット $\backslash$ 補 | 着色RB                 |
| 一般書庫 A | 406.1     | 不燃アルミ $\backslash$ 補 | ビニルシート               | 不燃アルミ $\backslash$ 補 |
| 一般書庫 B | 635.0     | 不燃アルミ $\backslash$ 補 | ビニルシート               | 不燃アルミ $\backslash$ 補 |

注)一般書庫 A:アルカリ対策実施(一階)、一般書庫 B:アルカリ対策無し

a) コンクリート躯体内部の温・湿度

コンクリートの調査は、表 - 5 に示す。セメントは、普通ポルトランドセメントを用い、細骨材は、混合砂（普通、砕石）粗骨材は、砕石である。また、化学混和剤は、高性能減水剤を用いた。

コンクリート躯体内部の温・湿度の計測は、電動ドリル（12mm）を用いて、図 - 15 に示すように散水による温・湿度センサ - の損傷を防止するために壁、床部材のコンクリート裏面から壁深さ 120 mm、90 mm、床深さ 150 mm、90 mm（表面から 35 mm、90 mm）まで削孔し、前記と同様な温・湿度センサ - （高分子感湿素子）を挿入後、削孔部に液状シリコンを注入して外部から遮断した。温・湿度の測定は、1日当たり3回「朝、昼、夕方」の頻度で測定し、UCAM - 70 A データロガーにより自動計測を行った。

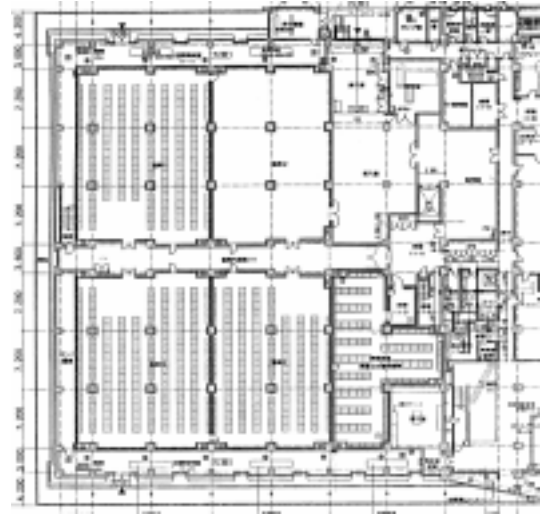
b) 室内環境の空気汚染度

室内環境の空気汚染度は、変色試験紙法とイオンクロマト分析法で行った。変色試験紙法とは、美術館や博物館などで現在広範囲に行われている室内の空気質把握法であり、空気中の酸・アルカリを5段階で判定し、簡易かつ総合的に環境を判定する方法である。判定方法は、床から高さ1mの位置にセットし、一昼夜放置した後の試験紙の色を比色表を用いて判定する。比色表は、1が酸性（橙）、2が中性（黄緑）、3～5がアルカリ性（濃青～紫）の空気環境を示す。

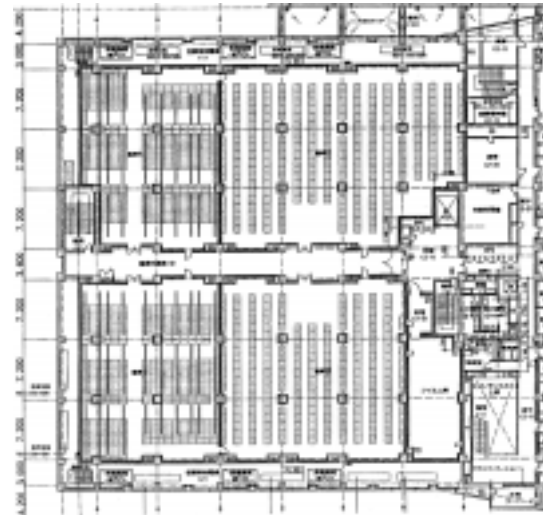
イオンクロマト分析法は、インピンジャ - （ガス吸収瓶）に超純粋40ml/瓶を入れ、空気を吸引ポンプで流速2l/minで2時間吸引を行い、対象空気を補集・凝縮させた。補集・凝縮された補集液の分析条件を表 - 6 に示す。

c) 室内環境の温・湿度

室内環境の温・湿度は、S製デジタル温・湿度計を使用して測定した。



アルカリ対策をした貴重書庫、一般書庫とアルカリ対策をしない展示室（1階）



アルカリ対策をしない一般書庫（2階）

図 - 14 計測部位と計測箇所

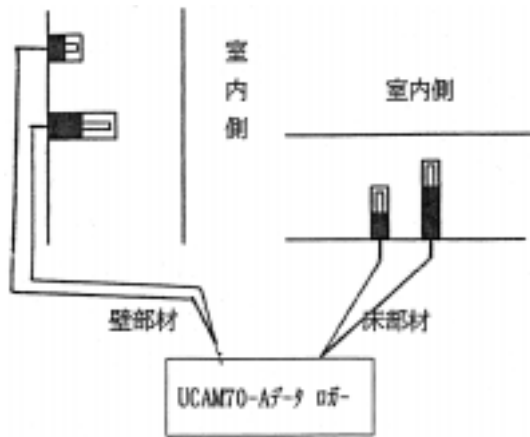


図 - 15 コンクリート躯体内部の温・湿度測定

表 - 5 コンクリート躯体の実施調査

| 水セメント比 (%) | 細骨材率 (%) | 単位水量 (kg/cm <sup>3</sup> ) | 重 量 (Kg/m <sup>3</sup> ) |     |      | 混和剤 (l/m <sup>3</sup> ) |
|------------|----------|----------------------------|--------------------------|-----|------|-------------------------|
|            |          |                            | セメント                     | 細骨材 | 粗骨材  |                         |
| 60.8       | 46.2     | 166                        | 273                      | 846 | 1017 | 2.965                   |

注) 細骨材;普通砕砂 (60:40) 粗骨材;砕石

表 - 6 イオンクロマトラフィの分析条件

| 装置    | IC500 (横河アナライザ社製) |                               |          |
|-------|-------------------|-------------------------------|----------|
| 温度    | 4.5               | 流量                            | 2 ml/min |
| 検出器   | 導電率検出器            | サンプル注入量                       | 1 ml     |
| 分離カラム | 1価・2価陽イオン         | SCX                           | 1        |
|       | 陰イオン              | SAX                           | 1        |
| 溶離液   | 1価陽イオン            | 5 mM 硝酸                       |          |
|       | 2価陽イオン            | 2 mM エチレンジアミン / 4 mM 酒石酸      |          |
|       | 陰イオン              | 4 mM 炭酸ナトリウム / 4 mM 炭酸水素ナトリウム |          |
| 測定物質  | 1価陽イオン            | アンモニア、                        |          |
|       | 2価陽イオン            | カルシウム、マグネシウム                  |          |
|       | 陰イオン              | 塩素、亜硝酸、硫酸                     |          |

a) コンクリートから発生するアンモニアガスの推移  
 実測によるアンモニアガスの推移を図 - 16 に示す。  
 貴重書庫は、アルカリ対策(散水 - 乾燥処理後、換気・除湿運転)を行い、展示室では、通常の中空養生を行った。  
 アルカリ対策をした貴重書庫室内のアンモニアガス( $\text{NH}_3$ )濃度は、通常の中空養生をした展示室に比べて型枠解体後190日で約1/2と低減し、早期に目標値をクリアしていることが分かる。

b) 変色試験紙による偏苛性度の推移

変色試験紙による偏苛性度は、図 - 17 に示すようにアルカリ対策を実施した貴重書庫の方が実施しない展示室に比べて早期に清浄な室内空気環境(中性)に改善されている。また、変色試験紙法と $\text{NH}_3$ ガス濃度分析法を比較すると、両者の間に多少差異が認められる。

これは、変色試験紙法は塩基性と酸性物質の相対的なバランスの結果で、絶対量の評価でないことによるものと考えられる。

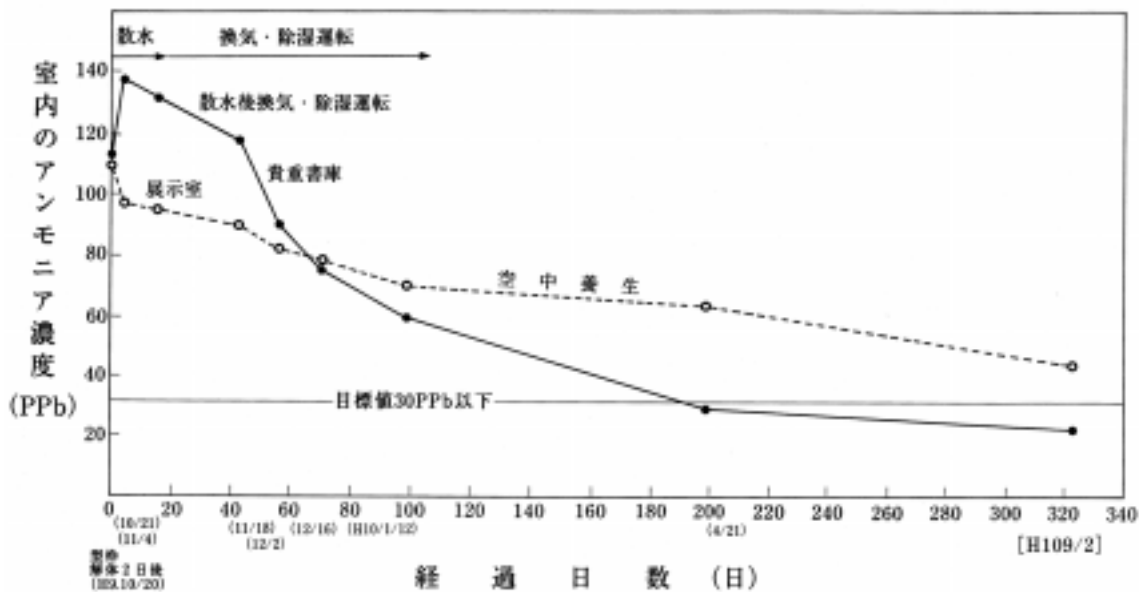


図 - 16 アルカリ対策の有無によるアンモニア濃度の経時変化

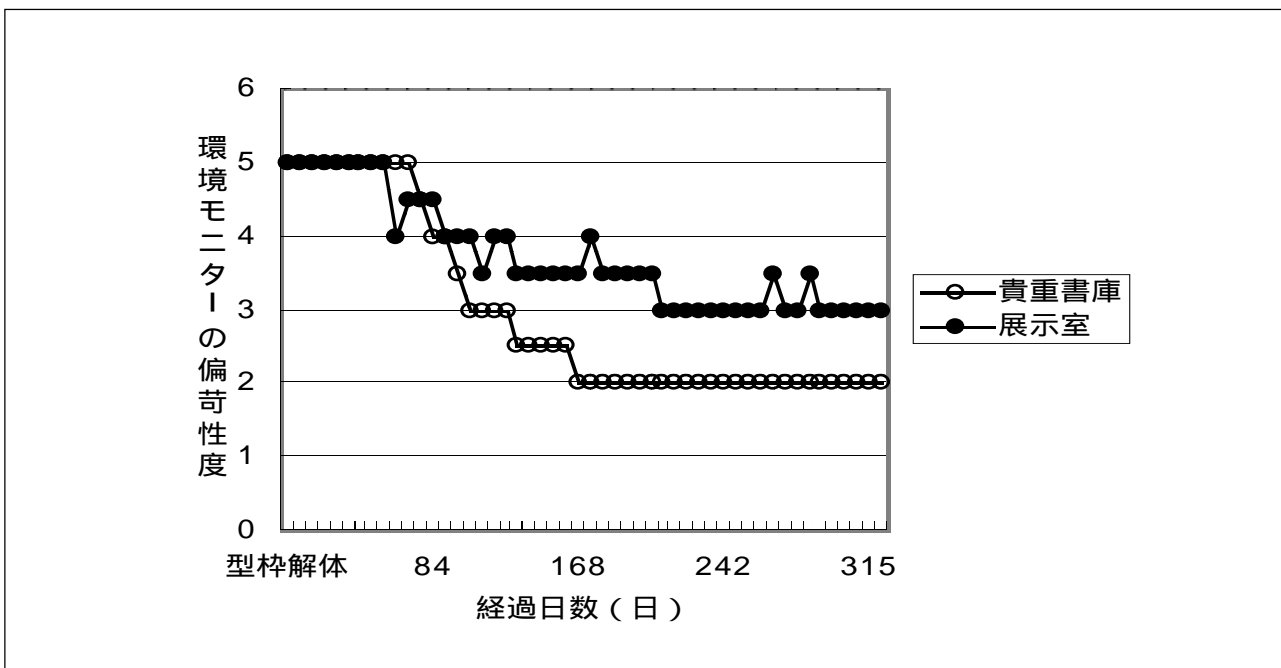


図 - 17 アルカリ対策の有無による変色試験紙の偏苛性度の経時変化

c) コンクリート躯体の含水率の推移

アルカリ対策を実施した貴重書庫と対策をしない通常の空中養生の展示室におけるコンクリート躯体の含水率(表面から深さ35、90mm)の経時変化を図-18~21

に各々に示す。アルカリ対策を実施した貴重書庫はコンクリート表面から深さ35mmの含水率では散水後で型枠解体2日経過後と比べて約1%vol増加し、散水後換気・除湿運転終了時では散水後に比べて約4%vol低下している

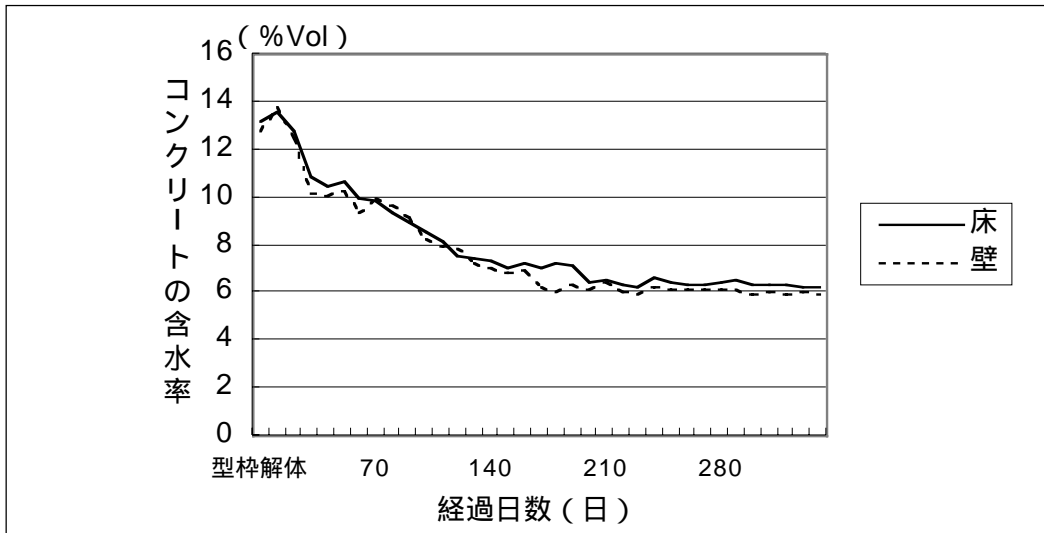


図-18 貴重書庫におけるコンクリート躯体の含水率の経時変化(表面から深さ35mm)

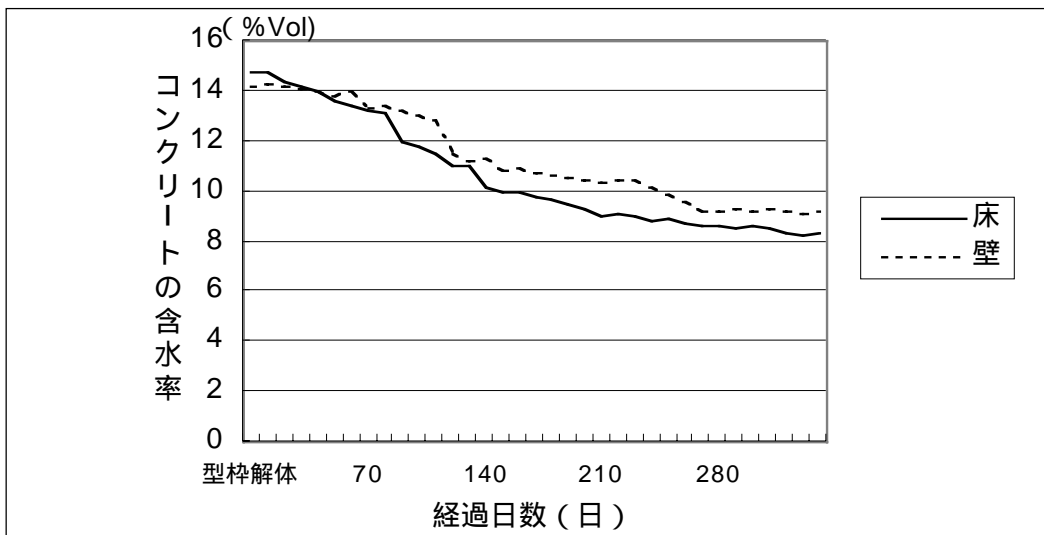


図-19 貴重書庫におけるコンクリート躯体の含水率の経時変化(表面から深さ90mm)

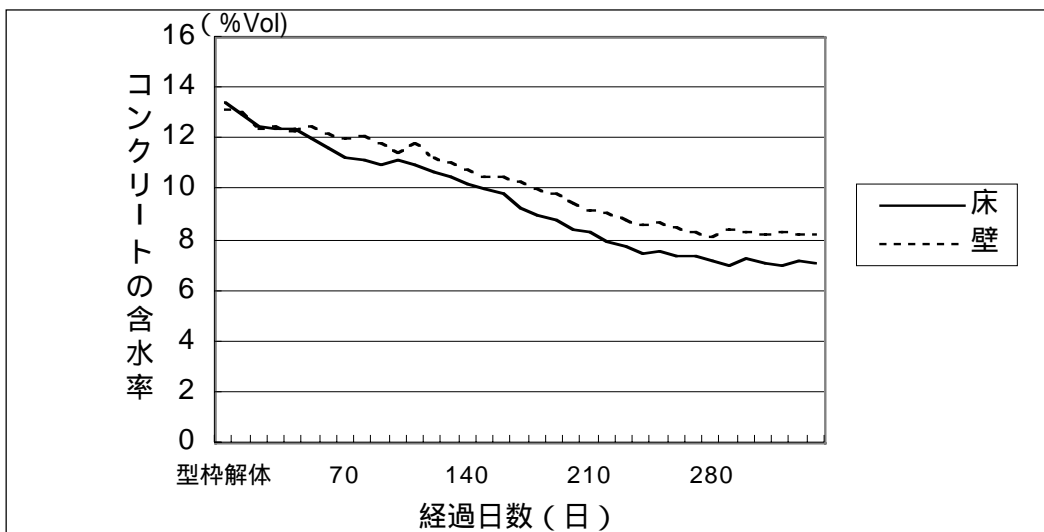


図-20 展示室におけるコンクリート躯体の含水率の経時変化(表面から深さ35mm)

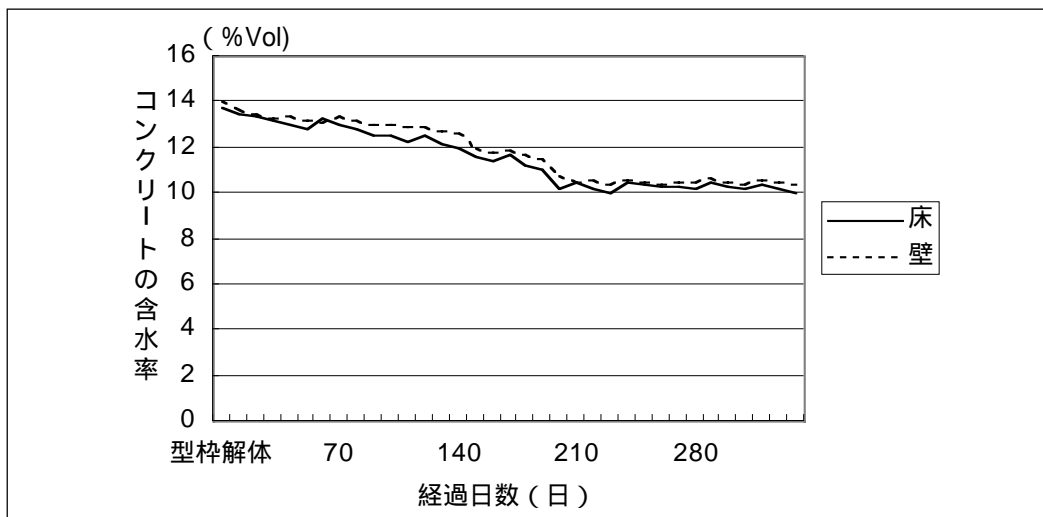


図 - 2 1 展示室におけるコンクリート躯体の含水率の経時変化 (表面から深さ 90mm)

る。また、表面から深さ 90mm の含水率では散水後で型枠解体 2 日経過後と比べて殆ど変化がなく、散水後、換気・除湿運転終了時では散水後に比べて約 2 %vol 低下した。表層部分は、中心部分に比べて乾燥が速い。部位別にみると、床部材は、壁部材に比べて多少乾燥が速い。一方、通常の中空養生をした展示室では、型枠解体 2 日経過後 104 日時 (アルカリ対策期間相当) の表面から深さ 35mm の含水率は、アルカリ対策実施したものと比べて約 3 %vol 大きい。また、表面から深さ 90mm の含水率は、アルカリ対策実施したものと比べて約 1 %vol 大きい。したがって、換気・除湿運転は、コンクリート躯体の含水率を低下させるのに効果がある。

d) コンクリート躯体の含水率とアンモニア放出量

コンクリート躯体表面から深さ 35mm、90mm における含水率とアンモニア放出量との関係を図 - 2 2、2 3 に各々に示す。コンクリート躯体表面から深さ 35mm、90mm における躯体の内部含水率は、コンクリート躯体の内部の含水率が増加するとアンモニア放出量も増加する傾向にあり、両者の間には高い相関性が認められ、次式のような累乗近似で表すことができる。

コンクリート表面から 35mm の含水率とアンモニア放出量の関係は、

$$Y = 1.883 \times X^{1.5824}$$

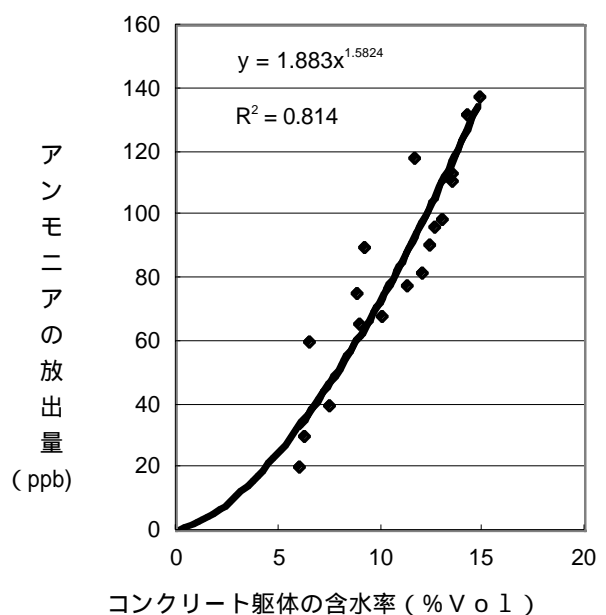
コンクリート表面から 90mm の含水率とアンモニア放出量の関係は、

$$Y = 0.132 \times X^{2.5304}$$

ただし

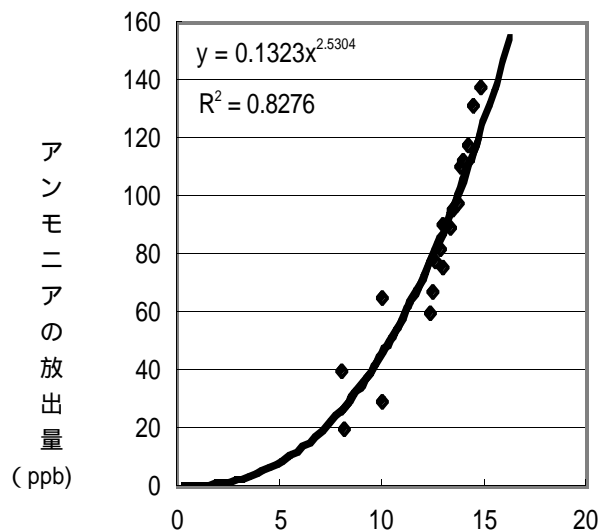
X : コンクリート躯体の含水率 (% Vol)  
Y : アンモニア放出量 (ppb)

コンクリート躯体の表層部 (表面から深さ 35mm) の含水率が 5 %vol、中心部 (表面から深さ 90mm) が 8 %vol 以下になればコンクリートのアンモニア放出量は、かなり低減することがわかる。  
(清浄な室内空気環境)



コンクリート躯体の含水率 (% Vol)

図 - 2 2 コンクリート躯体の含水率とアンモニア放出量 (深さ 35 mm)



コンクリート躯体の含水率 (% Vol)

図 - 2 3 コンクリート躯体の含水率とアンモニア放出量 (深さ 90mm)

e) 内装材から発生する酸性物質の推移

内装材から発生する酸性物質（ホルムアルデヒド HCHO、酢酸 CH<sub>3</sub>COOH）の推移を図 - 24 に示す。貴重書庫の内装材を施工している時点での室内の HCHO 濃度は、600 ~ 900PPb 程度で目標値（150PPb 以下）に対して 4 ~ 6 倍大きいになっていた。これは、内装材に使用する接着剤などから発生したものと考えられる。

内装工事終了後、3日以降から空調機（アルカリ・酸性除去フィルタ - 設置）運転を実施した。その結果、80PPb となり、1/8 ~ 1/11 に低減した。展示室の HCHO 濃度は、内装工事終了後、3日で 60PPb、それ以降徐々に低減している。

一方、貴重書庫の室内の CH<sub>3</sub>COOH 濃度は、内装工事終了後 12日以降徐々に増加する傾向を示した。これは、木製の引出しを多数収納しているためと考えられる。

展示室の CH<sub>3</sub>COOH 濃度は、内装工事終了後 50PPb 前後とほぼ一定の値に収束している。

(7) まとめ

以上、本実験の計測・評価結果より概略次のようにまとめられる。

- a) アルカリ対策として実施した散水と換気・除湿運転を所定期間行うことによりアルカリ物質を短期間に多量のアルカリ物質を発生および除去をすることができた。
- b) コンクリート躯体の乾燥速度は、表層部（表面から深さ35mm）が中心部（表面から深さ90mm）に比べて速く、部位別では、床が壁に比べて多少速い。
- c) コンクリート躯体の含水率とアンモニア放散量との関係は、高い相関性が認められ、累乗近似で表すことができる。
- d) コンクリート躯体の表層部の含水率は、5% vol 以下、中心部が 8% 以下になれば、アンモニア放出量はかなり低減する。
- e) コンクリート躯体の含水率を評価することにより、アンモニア放出量を予測評価できる。
- f) 内装材から発生する酸性物質の濃度の推移は、内装材施工後、HCHO 濃度は低減する傾向にあるが、CH<sub>3</sub>COOH 濃度では、多少増加傾向にあった。
- g) 空調機アルカリ・酸性除去フィルタ - による室内汚染空気質の改善が認められた。

5. むすび

以上、実施設の美術館と公文書館におけるコンクリート躯体や内装材から発生する有害性物質と経時変化、およびコンクリート躯体の含水率とアンモニア放出量との関係を明らかにした。さらに有害性物質の新しい早期放散方法と除去方法の有効性を実証するとともに空調機アルカリ・酸性除去フィルタ - の設置による空気質の改善効果を示した。今後は、建材からの脱ガス特性と拡散モデル評価について解析・検討を行う予定である。

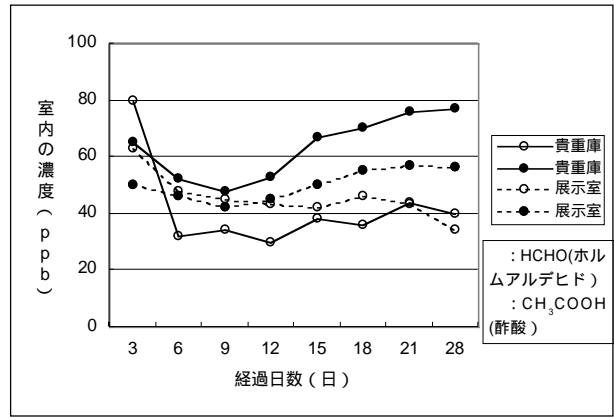


図 - 24 内装材施工後の酸性物質（ホルムアルデヒド、酢酸）濃度と推移

謝辞

美術館と公文書館の保存・収納環境評価にあたって、東京国立文化財研究所の三浦定俊先生および佐野千絵先生に貴重な助言をいただいた。また、これまでご協力を頂いた関係諸氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 登石健三、見城敏子：「うちたてコンクリート箱内において美術品の材料が与える影響」、保存科学 3 号、1967
- 2) 黒坂五馬：「コンクリートから発生するアンモニアの発生機構の研究」古文化財の科学、第 3 7、1992
- 3) 江本義理：「汚染空気による生成物の分析」、保存科学 8 号、1972
- 4) 黒坂五馬：「コンクリートからでる空中浮遊物質が他の物質に及ぼす影響（その 8）、空中浮遊アンモニア（その 1）日本建築学会関東支部研究報告集、1976
- 5) 鈴木良延、梶間智明：「打ちたてコンクリートから発生するアンモニア物質の除去」、日本建築学会大会学術講演梗概要集、1985
- 6) 鎌田英治、田畑雅幸：「コンクリート内部の含水量の測定」、セメント技術年報 XXX、1976
- 7) 三浦勇雄他：「発色紙によるコンクリートの湿度および含水測定方法に関する研究」、セメント技術年報 88、1984
- 8) 三浦勇雄他：「美術館における収蔵庫、展示室の保存環境」戸田技報、建築 102、1996
- 9) 荒井良延他：「美術品保存展示空間の温湿度・空気質環境計画の研究」空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1996
- 10) 三浦勇雄他：「建材から発生する化学汚染と対策」戸田技報、建築 106、1998